

PEMILIHAN TEKNOLOGI DESALINASI NUKLIR DI PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Siti Alimah*, Sudi Ariyanto*, Erlan Dewita*, Budiarto* dan Geni R. Sunaryo**

* Pusat Pengembangan Energi Nuklir - BATAN

** Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN

Alimahsiti@yahoo.com

ABSTRAK

PEMILIHAN TEKNOLOGI DESALINASI NUKLIR DI PROVINSI KALIMANTAN TIMUR. Saat ini, kebutuhan listrik di Kalimantan Timur (Kaltim) meningkat dengan kecepatan 12% per tahun. Karena pasokan listrik yang dihasilkan PT. PLN meningkat 8,5% per tahun, maka mengakibatkan terjadinya krisis listrik di daerah tersebut. PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) dapat merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi masalah tersebut. Demikian pula halnya dengan ketersediaan air bersih, pasokannya juga lebih sedikit dari pada kebutuhan. Sehingga memerlukan suatu upaya yang serius. Desalinasi nuklir adalah suatu proses memisahkan garam terlarut dari air laut atau air payau, yang dikopel dengan PLTN untuk memproduksi air bersih. Ada beberapa jenis teknologi desalinasi yang umum digunakan di dunia, diantaranya MSF (Multi-Stage Flash Distillation), MED (Multi-Effect Distillation) and RO (Reverse Osmosis). Makalah ini menyajikan hasil studi suatu pemilihan teknologi desalinasi untuk memperoleh solusi yang optimal. Pemilihan dilakukan berdasarkan pada pertimbangan 13 parameter penting yang diperkirakan sangat berpengaruh dalam menentukan pemilihan teknologi desalinasi nuklir dengan faktor pembobotan yang mempunyai kisaran 1 sampai 4. Teknologi yang dipilih adalah yang mempunyai nilai bobot paling tinggi. Hasil studi memperlihatkan bahwa MED mempunyai nilai bobot yang paling tinggi yaitu 39, diikuti nilai bobot 36 untuk RO dan 33 untuk MSF. Karena diperlukan air dengan kualitas sekitar 1 ppm untuk memasok PLTN dan untuk memasok kebutuhan masyarakat diperlukan air dengan kualitas dibawah 1000 ppm maka sistem hibrid MED-RO merupakan pilihan optimum untuk memproduksi air bersih.

Kata kunci : Teknologi Desalinasi, MSF, MED, RO, Air Bersih, Kopel, PLTN

ABSTRACT

SELECTION OF NUCLEAR DESALINATION TECHNOLOGY IN EAST KALIMANTAN PROVINCE. Nowadays, electricity demand in East Kalimantan increases with a rate of 12% per annum. Since the electricity supply produced by PT.PLN increases 8,5% per annum, then it can consequently an occurrence of electricity shortage in the region. NPP may be regarded as one viable option to overcome the problem. In case of fresh water availability, the supply is also less than the demand. Therefore, a serious effort is necessary. Nuclear desalination, which is a process of separating dissolved salts of seawater or brackish water, can be coupled to the NPP to produce fresh water. There are some desalination technology commonly used in the world i.e.MSF (Multi-Stage Flash Distillation), MED (Multi-Effect Distillation) and RO (Reverse Osmosis). This paper shows the study result of selection for desalination technology to obtain the optimum solution. The selection is done based on the thirteen important parameters, which are estimated to affect on determine technology option on the nuclear desalination with a weighing factor with ranges from 1 to 4. The most favourable technology is that with the highest point. The result show that MED has highest weighing factor that is 39, followed 36 for RO and 33 for MSF. Since the water quality requirement to supply NPP is about 1 ppm and to supply public demand is below 1000 ppm, so a hybrid system of MED-RO is optimum option to produce fresh water.

Key words : Desalination Technology, MSF, MED, RO, Fresh water, Coupling, NPP.

1. PENDAHULUAN

Saat ini, kebutuhan energi listrik di provinsi Kalimantan Timur (Kaltim) terus meningkat dengan percepatan 12% per tahun, sedangkan pertumbuhan listrik yang dihasilkan oleh PLN sebesar 8,5% per tahun^[1], sehingga akan menimbulkan krisis listrik di daerah tersebut. PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) dapat merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi krisis listrik tersebut. Sebagaimana listrik, air bersih juga merupakan kebutuhan utama. Banyaknya air yang didistribusikan PDAM provinsi Kaltim ke konsumen pada tahun 2005, 2006 dan 2007 adalah masing-masing sebesar 229.738, 241.830 dan 253.921 m³/hari^[2]. Sementara itu, kebutuhan air bersih untuk keperluan sehari-hari pada tahun 2005, 2006 dan 2007 adalah masing-masing sebesar 409.086, 422.840 dan 437.221 m³/hari. Sehingga terdapat kekurangan air bersih pada tahun 2005, 2006 dan 2007 masing-masing sebesar 179.348, 181.010 dan 183.300 m³/hari.

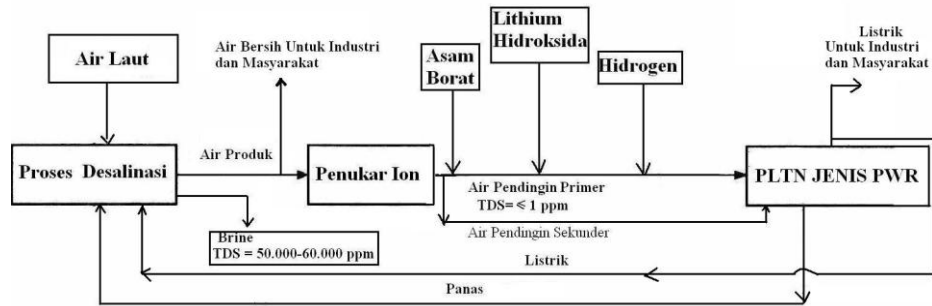
Dalam PP No. 43 tahun 2006 tentang perizinan reaktor nuklir, reaktor daya komersial hanya dibangun berdasar teknologi yang teruji, sehingga Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir yang direncanakan harus merupakan PLTN yang telah teruji, yang secara teknis aman dari segi keselamatan. Salah satu teknologi yang memenuhi kriteria tersebut adalah PLTN jenis PWR (*Pressurized Water Reactor*), dan PLTN jenis ini selain telah teruji juga paling banyak digunakan di dunia yaitu sebanyak 264 dari 438 PLTN dunia^[3].

Salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan air bersih, baik untuk PLTN, industri maupun kebutuhan masyarakat adalah dengan teknologi desalinasi nuklir. Proses desalinasi memerlukan energi dalam bentuk panas atau listrik yang dapat dipasok dari reaktor nuklir (PLTN), sehingga disebut desalinasi nuklir. Sedangkan desalinasi adalah proses menghilangkan mineral-mineral terlarut dari air laut atau air payau menjadi air bersih. Instalasi desalinasi nuklir telah dioperasikan di beberapa negara. Sebagai contoh negara yang telah sukses dengan desalinasi nuklir adalah Kazakstan dan Jepang. Pada tahun 1973 (selama hampir 26 tahun), Kazakstan telah berhasil memasok air bersih untuk penduduk Aktau dan untuk kebutuhan komplek instalasi PLTN dengan air produk desalinasi nuklir berkapasitas 80.000 m³/hari. Sedangkan di Jepang beberapa PLTN yang berlokasi di Ehime, Fukuoka dan Fukui juga telah memasok kebutuhan airnya dengan desalinasi nuklir. Sampai saat ini, dari pengalaman operasi desalinasi nuklir dunia, proses desalinasi yang telah teruji, dikopel dengan PLTN jenis PWR adalah MSF (*Multi-Stage Flash Distillation*), MED (*Multi-Effect Distillation*) dan RO (*Reverse Osmosis*). Masing-masing proses ini tersebut mempunyai keuntungan dan kerugian.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah menentukan teknologi desalinasi yang sesuai untuk memasok kebutuhan air bersih masyarakat dan industri di provinsi Kaltim serta untuk memasok kebutuhan air PLTN. Hasil studi diharapkan dapat memberi masukan bagi pembuat kebijakan, untuk mengatasi krisis air bersih di provinsi Kaltim.

2. TEKNOLOGI DESALINASI NUKLIR

Desalinasi nuklir adalah proses produksi air bersih yang berasal dari air laut atau air payau dengan menggunakan reaktor nuklir (PLTN) sebagai sumber energi. Skema PLTN untuk pasokan listrik dan desalinasi dapat dilihat pada Gambar 1. Saat ini, PLTN yang telah teruji, yang energinya telah memasok instalasi desalinasi adalah jenis PWR. Di dalam PLTN jenis PWR, terdapat suatu sistem yang disebut RCS (*Reactor Coolant System*). RCS merupakan rangkaian sirkulasi air tertutup yang berfungsi selain sebagai sistem pendingin reaktor (sistem primer) juga menyalurkan panas ke sistem sekunder di dalam generator uap. Sistem sirkulasi pendingin yang melalui teras reaktor disebut sistem aliran primer, sedangkan sistem sirkulasi yang melalui generator uap menuju turbin disebut sistem aliran sekunder. Uap dari turbin, selain digunakan untuk menghasilkan listrik juga untuk memasok energi panas ke instalasi desalinasi.



Gambar 1. Skema PLTN untuk Pasokan Listrik dan Desalinasi

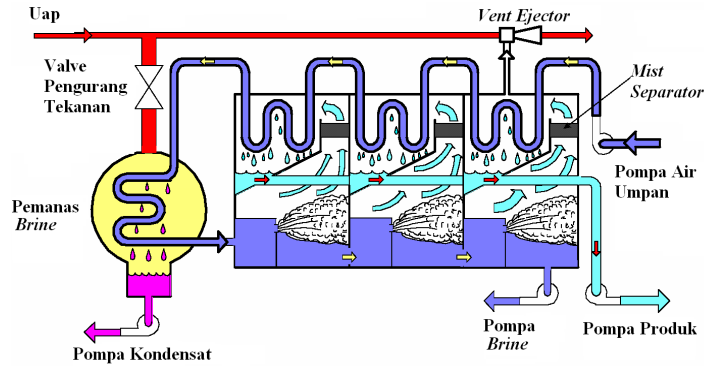
Teknologi desalinasi yang telah teruji dikopel dengan PLTN jenis PWR adalah MSF, MED dan RO. Jadi teknologi desalinasi nuklir telah komersial dan teruji dengan berbagai pengalaman. Tabel 2 memperlihatkan status proses desalinasi dengan PWR.

Tabel 2. Status Teknologi Desalinasi Dengan PWR^[5]

Lokasi	Jenis Proses	Status
Jepang(Ohi,Takahama,Ikuta,Genkai),	MED, MSF, RO	Operasi
Korea (SMART)	MED	Desain
Argentina (CAREM)	MED, RO	Konstruksi
Rusia (KLT-40C)	MED, RO	Pertimbangan
Amerika Serikat (Diabolo Canyon)	RO	Operasi

2.1. MSF (Multi-Stage Flash Distillation)

MSF adalah jenis desalinasi yang selain membutuhkan sedikit energi listrik untuk menggerakkan pompa, juga membutuhkan energi panas berupa uap dari PLTN. Uap diambilkan dari turbin, yang setelah memberikan panasnya dalam alat penukar panas, akan kembali ke sistem sekunder. Proses MSF terdiri dari beberapa *stage* (tahapan) *evaporator*. Sebelum masuk *evaporator*, air umpan dialirkan ke sistem pengolah awal dengan menambahkan bahan kimia untuk menghindari pembentukan kerak dalam pipa penukar panas. Selanjutnya dilakukan aerasi untuk mengeluarkan oksigen terlarut dan karbondioksida ke atmosfer, sehingga meminimalkan korosi. Air laut kemudian dipanaskan sampai suhu tertentu sesuai desain pemanas *brine* oleh uap yang keluar dari katup pengurang tekanan (Gambar 2). Air laut menyembur ke bagian bawah tiap *evaporator*, sehingga butiran-butiran halus segera mendidih dan menguap. Uap yang terjadi selanjutnya menembus *mist separator* (penyaring butiran halus air yang terbawa uap) dan menuju bagian atas tiap *evaporator*. Pada bagian atas tiap *evaporator* terdapat pipa yang di dalamnya mengalir air laut yang lebih dingin. Karena adanya perpindahan panas, uap akan terkondensasi. Proses penguapan dan kondensasi yang dihasilkan di *evaporator* berikutnya sama seperti *evaporator* pertama. Produk desalinasi MSF mempunyai total padatan terlarut/TDS (*Total Dissolved Solid*) 1-50 ppm^[6]. Gambar 2 memperlihatkan skema proses desalinasi MSF.

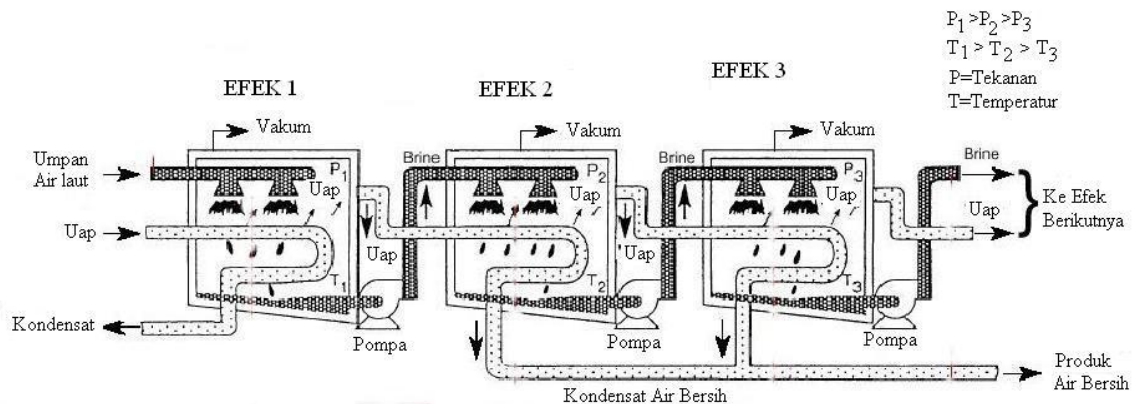


Gambar 2. Skema Proses Desalinasi MSF^[7]

2.2. MED (Multi-Effect Distillation)

MED adalah jenis desalinasi yang juga membutuhkan energi panas berupa uap dari PLTN dan sedikit energi listrik untuk menggerakkan pompa. Uap diambilkan dari turbin, yang setelah memberikan panasnya dalam alat penukar panas, akan kembali ke sistem sekunder. Proses MED terdiri dari beberapa *effect* (tahapan). Pada *effect* pertama, uap diperoleh dari sistem pembangkit uap, sedangkan pada *effect* kedua dan seterusnya masing-masing mendapat uap yang dari hasil *effect* sebelumnya. Uap mengalir ke dalam pipa-pipa di dalam tiap *effect* evaporator dan air laut disemprotkan ke sisi luar pipa-pipa *evaporator* horisontal. Uap yang mengalir di dalam pipa-pipa akan mengembun, dan melepaskan panas latennya ke lapisan film air laut yang terjadi di dinding sisi luar pipa-pipa, sehingga lapisan film air laut itu sebagian mendidih dan menguap, sedangkan sisanya jatuh ke dasar evaporator dan disebut *brine* (konsentrat garam).

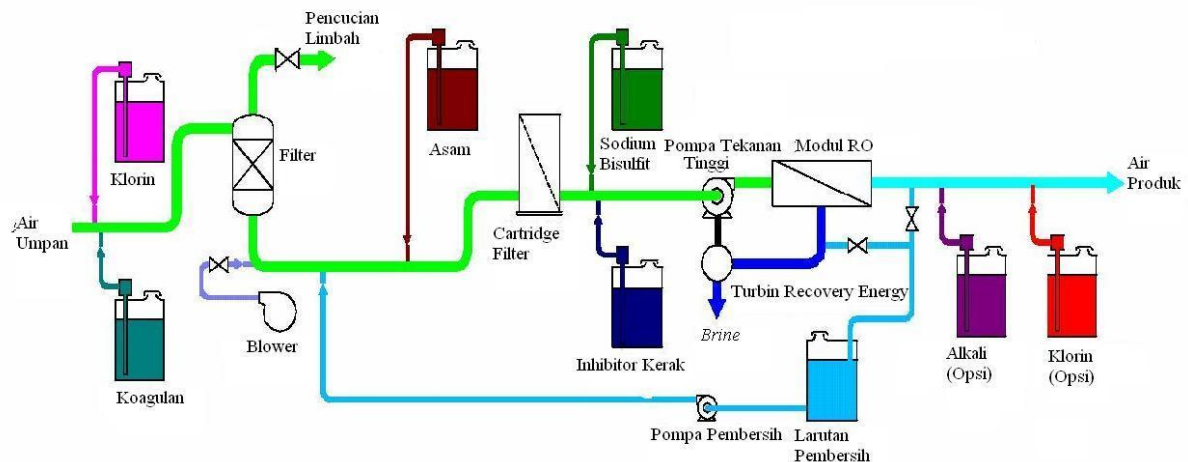
Uap yang terjadi pada *effect* pertama mengalir ke dalam pipa-pipa *evaporator* horisontal *effect* ke dua, mengembun dan melepaskan panas latennya ke lapisan film air laut yang ada di dinding sisi luar pipa-pipa, sehingga sebagian air laut menguap. Selanjutnya proses pengembunan dan penguapan yang serupa terjadi di *effect* ketiga dan seterusnya sampai *effect* terakhir. Pada *effect* terakhir, uap dikondensasi dalam penukar panas dengan didinginkan oleh air laut yang masuk. Air distilat mempunyai TDS 1-50 ppm., dipompa ke tangki penampungan. Skema proses desalinasi MED dapat dilihat Gambar 3.



Gambar 3. Skema Proses Desalinasi MED^[8]

2.3. RO (Reverse Osmosis)

RO adalah jenis desalinasi yang hanya membutuhkan energi listrik dari PLTN. Desalinasi RO terdiri dari pengolah awal, pompa tekanan tinggi, modul RO dan pengolah akhir. Tujuan pengolah awal untuk menghindari terjadinya risiko penyumbatan karena adanya *fouling* (pengotor), baik pengotor biologi maupun kerak pada membran. Setelah dilakukan pengolah awal, kemudian air laut dipompa ke modul membran sampai tekanan yang ditentukan (sekitar 50-80 bar), tergantung disainnya. Air produk yang keluar dari membran mempunyai TDS 200-500 ppm^[5]. Di sisi lain, *brine* dengan kandungan garam tinggi juga dikeluarkan dari modul membran. Pengolah akhir diperlukan untuk mengurangi sifat korosif dan memperbaiki kualitas. Proses RO memerlukan air umpan dengan kualitas yang baik untuk keberhasilan operasinya, karena membran sangat sensitif terhadap padatan tersuspensi, bahan kimia tertentu dan pengotor lain. Gambar 4 memperlihatkan skema proses desalinasi RO.



Gambar 4. Skema Proses Desalinasi RO^[7]

2.4. METODOLOGI PEMILIHAN

Metodologi pemilihan teknologi desalinasi untuk memasok kebutuhan air bersih masyarakat, industri dan PLTN di provinsi Kaltim dilakukan dengan pembuatan nilai bobot terhadap ketiga jenis desalinasi. Pembuatan nilai bobot ini mempertimbangkan 13 parameter penting yaitu ketersediaan instalasi, investasi awal, biaya perawatan, potensi pengembangan teknologi, konsumsi energi listrik, konsumsi energi termal, kapasitas produksi, pengolahan awal, pengolahan akhir untuk air minum, pengolahan akhir untuk air proses industri, ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap pengerakan, ketahanan terhadap *biofouling*. Semua parameter tersebut sangat berpengaruh dalam menentukan pemilihan dari aspek status ketersediaan teknologi, ekonomi dan kinerja. Parameter-parameter tersebut memperlihatkan keuntungan dan kerugian dari masing-masing teknologi desalinasi. Faktor-faktor yang menguntungkan akan lebih dipilih dibanding faktor yang merugikan. Investasi awal dan biaya perawatan yang rendah, akan lebih menarik dibanding yang tinggi. Faktor potensi pengembangan teknologi dipertimbangkan dalam melakukan pemilihan desalinasi karena teknologi yang relatif baru akan mempunyai kinerja yang lebih baik. Konsumsi energi listrik dan termal yang tinggi akan lebih merugikan dibanding yang rendah. Kapasitas produksi yang tinggi akan lebih menguntungkan dibanding yang rendah^[4] karena hanya dibutuhkan satu instalasi untuk produksi yang tinggi. Pengolahan awal, pengolahan akhir, ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap pengerakan dan ketahanan terhadap *biofouling* berkaitan dengan

pemakaian bahan kimia. Pemakaian bahan kimia yang lebih banyak akan lebih merugikan karena akan dibutuhkan biaya yang lebih tinggi^[5].

Dari ke 13 parameter yang telah diuraikan tersebut kemudian dibuat definisi nilai bobot seperti terlihat dalam Tabel 1 dan selanjutnya dilakukan pembobotan untuk pemilihan teknologi desalinasi. Teknologi yang dipilih adalah yang memiliki total nilai bobot tertinggi.

Tabel 1. Definisi Nilai Bobot

No.	Parameter	Bobot			
		1	2	3	4
1.	Ketersediaan instalasi	sulit didapat	rendah	sedang	mudah didapat
2.	Investasi awal	tinggi sekali	tinggi	sedang	rendah
3.	Biaya perawatan	tinggi	sedang	rendah	rendah sekali
4.	Potensi pengembangan teknologi	rendah sekali	rendah	sedang	tinggi
5.	Konsumsi energi listrik	tinggi	sedang	rendah	rendah sekali
6.	Konsumsi energi termal	tinggi	sedang	rendah	tidak ada
7.	Kapasitas produksi	sangat rendah	rendah	sedang	tinggi
8.	Pengolahan awal	sangat perlu	perlu	sedikit perlu	tidak perlu
9.	Pengolahan akhir guna air minum	sangat perlu	perlu	sedikit perlu	tidak perlu
10.	Pengolahan akhir guna air proses industri	sangat perlu	perlu	sedikit perlu	tidak perlu
11.	Ketahanan terhadap korosi	sangat rendah	rendah	sedang	tinggi
12.	Ketahanan terhadap pengerakan	sangat rendah	rendah	sedang	tinggi
13.	Ketahanan terhadap <i>biofouling</i>	sangat rendah	rendah	sedang	tinggi

3. PEMBAHASAN

Air produk dari instalasi desalinasi nuklir yang akan dipilih, terutama digunakan untuk memasok kebutuhan sehari-hari masyarakat dan industri (termasuk untuk PLTN). Untuk memasok kebutuhan masyarakat dibutuhkan air dengan TDS < 1000 mg/l^[9] dan untuk memasok kebutuhan PLTN diperlukan air dengan kualitas yang sangat baik (TDS sekitar 1 mg/l)^[10]. Dari data yang diperoleh, untuk provinsi Kaltim, banyaknya air yang didistribusikan PDAM ke konsumen pada tahun 2005, 2006 dan 2007 adalah masing-masing sebesar 229.738, 241.830 dan 253.921 m³/hari. Sementara itu, kebutuhan air bersih untuk keperluan sehari-hari pada tahun 2005, 2006 dan 2007 adalah masing-masing sebesar 409.086, 422.840 dan 437.221 m³/hari. Dari data tersebut dapat disimpulkan adanya kekurangan air bersih pada tahun 2005, 2006 dan 2007 masing-masing sebesar 179.348, 181.010 dan 183.300 m³/hari.

Teknologi desalinasi MSF, MED dan RO telah teruji dan tersedia secara komersial dengan berbagai variasi dari pemasok. Potensi pengembangan teknologi desalinasi MSF lebih rendah dibanding teknologi desalinasi MED dan RO. Pada MED, inovasi telah dilakukan lebih dari 25 tahun, teristimewa dalam pengembangan teknologi pipa dengan peningkatan perpindahan panas yang lebih tinggi. Pengembangan lain dalam instalasi desalinasi termal (terutama MED) antara lain ^[5] :

1. Penggunaan material evaporator non logam.
2. Peningkatan ketahanan korosi.
3. Peningkatan prosedur fabrikasi dan pengurangan waktu konstruksi.

4. Pengembangan sistem kontrol proses yang lebih tepat dan efisien.

Pengembangan lain dari sistem MED adalah penggunaan MVC (*Mechanical Vapor Compression*) dan TVC (*Thermal Vapor Compression*). Karena adanya pengembangan seperti yang diuraikan di atas, maka saat ini pemakaian instalasi MED meningkat lebih cepat dibanding MSF. Jadi pengembangan MED dalam beberapa tahun ini telah membawa proses ini berkompetisi dengan proses MSF baik secara teknik maupun ekonomi.

Sedangkan pada teknologi RO, pengembangannya adalah :

1. Peningkatan persentase penghilangan garam dari 98% menjadi 99,8%.
2. Peningkatan ketahanan membran terhadap klorin.
3. Pengurangan biaya pembersihan dan pengolahan awal.

Inovasi pengolahan awal pada RO juga telah dilakukan, yaitu penggunaan membran mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan nanofiltrasi. Instalasi RO sangat sensitif terhadap pengotor anorganik dan organik (*bio-fouling*). Oleh karena itu, instalasi RO memerlukan air umpan kualitas baik untuk keberhasilan operasinya sesuai usia desain. Produk air dari instalasi desalinasi termal mempunyai TDS 1-50 ppm, dan langsung dapat dipergunakan untuk aplikasi proses industri. Instalasi RO menghasilkan air dengan TDS 200-500 ppm, sehingga air produk dari instalasi RO hanya dapat digunakan untuk air minum bagi konsumsi masyarakat. Jika air produk RO digunakan untuk air pendingin reaktor, maka dibutuhkan suatu proses RO tahap kedua.

Temperatur operasi ketiga jenis proses desalinasi dapat dilihat pada Tabel 3. Oleh karena itu, terjadinya kerak dan korosi pada MED lebih rendah dibanding MSF dan RO adalah yang paling rendah. Terbentuknya kerak dan korosi pada MSF dan MED dapat ditekan dengan penambahan *inhibitor* dan menjaga pH operasi pada kondisi optimum karena pH yang terlalu tinggi akan menginisiasi proses pengerasan dan pH yang terlalu rendah akan menginisiasi proses korosi.

Tabel 3. Temperatur Operasi Instalasi Desalinasi ^[11]

	Jenis Desalinasi	Temperatur Operasi (°C)
1	MSF	90~110
2	MED	64~70
3	RO	40

Ditinjau dari aspek kebutuhan energi, instalasi RO hanya membutuhkan energi listrik, sedangkan instalasi MED dan MSF membutuhkan energi panas dan listrik. Besarnya energi yang dibutuhkan pada suatu proses (listrik dan panas) sangat bergantung pada kualitas umpan (air laut), oleh karena itu dibutuhkan proses perlakuan awal (*pretreatment*). Semakin banyak pengotor pada air umpan akan semakin besar energi yang dibutuhkan.

Hasil analisis kandungan air laut di daerah pantai Manggar di Kaltim yang diambil pada jarak 1,16 km dari pantai dan kedalaman sekitar 7 m dapat dilihat pada Tabel 4 (dilakukan tanggal 10 September 2008) ^[12].

Tabel 4. Hasil Analisis Kualitas Air Laut di Pantai Manggar Kaltim^[12]

No.	Parameter Air	Satuan	Lokasi Pengambilan Sampel
			Pantai Manggar
A.	Sifat Fisika		
1.	Suhu	°C	28,9
2.	DHL	mS	43,9
3.	TDS	mg/l	30.735
4.	TSS	mg/l	25
5.	Warna	mg/l-PtCo	1,57
6.	Kekeruhan	NTU	58,59
7.	Buih	-	Nihil
8.	Bau	-	Nihil
B.	Sifat Kimia		
9.	pH	-	6,86
10.	DO	mg/l	5,7
11.	Alkalinitas	mg/l	117,2
12.	TOC	mg/l	12,6
13.	H ₂ S	mg/l	Tidak terdeteksi
14.	Sulfat (SO ₄)	mg/l	1.545,12
15.	Chlorida (Cl)	mg/l	18.099,72
16.	Karbonat	mg/l	1,02
17.	Bikarbonat	mg/l	2,03
18.	Sodium (Na)	mg/l	3.268,87
19.	Magnesiun(Mg)	mg/l	1.268,8
20.	Calcium (Ca)	mg/l	900
21.	Potasium (K)	mg/l	3,657
22.	Barium (Ba)	mg/l	2.522,57
23.	Fluorida (F)	mg/l	0,91
24.	Silikat (SiO ₃)	mg/l	2,53
25.	Besi (Fe)	mg/l	0,441
26.	Seng (Zn)	mg/l	0,044
27.	Tembaga (Cu)	mg/l	0,03
28.	Timbal (Pb)	mg/l	0,49
29.	Raksa (Hg)	mg/l	0,002
	Keterangan		
	Lokasi		
	Posisi	S	01°13'01,9"
		E	116°59'26,9"

Seperti telah disebutkan dalam metodologi pemilihan, dilakukan pembobotan terhadap ketiga jenis desalinasi, dengan mempertimbangkan 13 parameter untuk menentukan teknologi desalinasi yang paling tepat dan optimal. Hasil dari pembobotan ketiga jenis desalinasi dapat dilihat pada Tabel 5. Teknologi yang dipilih adalah yang memiliki total nilai bobot tertinggi.

Tabel 5. Pembobotan Pemilihan Teknologi Desalinasi Untuk Provinsi Kaltim

No.	Parameter	Teknologi		
		MSF	MED	RO
1.	Ketersediaan instalasi	4	4	4
2.	Investasi awal	2	3	4
3.	Biaya perawatan	3	3	1
4.	Potensi pengembangan teknologi	1	3	4
5.	Konsumsi energi listrik	3	4	2
6.	Konsumsi energi termal	2	3	4
7.	Kapasitas produksi	4	3	2
8.	Pengolahan awal	3	3	1
9.	Pengolahan akhir guna air minum	1	1	4
10.	Pengolahan akhir guna air proses industri	4	4	2
11.	Ketahanan terhadap korosi	1	2	4
12.	Ketahanan terhadap pengerakan	1	2	3
13.	Ketahanan terhadap <i>biofouling</i>	4	4	1
	Total nilai bobot	33	39	36

Dari hasil nilai bobot pada Tabel 5, terlihat bahwa teknologi desalinasi MED adalah paling optimal, disusul berturut-turut RO dan MSF. Sehingga dapat disimpulkan bahwa teknologi desalinasi MED dapat menjadi pilihan guna memasok air keperluan PLTN/industri karena air produk desalinasi ini mempunyai TDS 1-50 ppm. Berdasar hasil analisis kualitas air laut, dengan kualitas seperti terlihat dalam Tabel 4, terlihat bahwa kandungan alkalinitas, sulfat, karbonat, bikarbonat, magnesium, kalsium dan barium dapat menimbulkan kerak pada instalasi MED. Untuk mengatasi masalah tersebut, sebelum masuk instalasi desalinasi MED, air laut di *pretreatment* (dilakukan pengolahan awal) dengan penambahan inhibitor anti kerak. Adanya oksigen air laut (DO) yang dapat menimbulkan korosi, dapat diatasi dengan deaerasi. Sedangkan untuk memasok air minum keperluan masyarakat, maka RO dapat menjadi pilihan karena air produknya mempunyai TDS 200-500 ppm, sehingga masih memenuhi persyaratan Departemen Kesehatan. Seperti disebutkan, pada instalasi RO diperlukan air dengan kualitas yang baik untuk keberhasilan operasinya. Adanya berbagai senyawa kimia, kekeruhan dan total suspensi seperti terlihat dalam Tabel 4, dapat diatasi dengan sistem pengolahan awal. Jadi berdasarkan analisis pemilihan teknologi desalinasi nuklir, maka teknologi hibrid MED-RO merupakan pilihan yang tepat dan optimal untuk memasok kebutuhan air bersih di Kaltim.

Ekonomi merupakan aspek yang juga menentukan jenis desalinasi. Harga air yang lebih murah akan lebih menarik konsumen. Dengan menggunakan *software* DEEP-3.1 untuk menghitung harga air, diperoleh harga air untuk sistem hibrid MED-RO 0,738 \$/m³, dengan asumsi pembangkit energi PLTN 100 MWe, efisiensi PLTN 33%, biaya konstruksi PLTN 1689 \$/kW, tahun perhitungan 2009, awal konstruksi 2014 dan operasi 2020. Sedangkan *interest rate* 5%, biaya konstruksi untuk MED 900 \$/m³/hari dan RO 700 \$/m³/hari^[13] dan jarak transport 50 km serta kapasitas produksi pabrik desalinasi 60.000 m³/hari. Dengan asumsi 1 \$ = Rp 11.000,-, maka harga per liter adalah sekitar Rp 8,1,-. Jadi harga air produk desalinasi dengan sistem hibrid MED-RO tersebut lebih murah jika dibanding dengan harga air aqua kemasan galon (19 liter) Rp 10.000,-; atau harga 1 liternya sekitar Rp 526,-. Jika kita bandingkan dengan air isi ulang yang saat ini telah banyak beredar dilingkungan perumahan yang harga per gallonnya Rp 3000,-; (harga per liter sekitar Rp 158,-); maka air produk desalinasi ini juga jauh lebih murah. Sebagai

bahan bandingan lain adalah pabrik desalinasi dengan pembangkit energi PLTU batubara, dengan efisiensi 39%, biaya konstruksi 1300 \$/kW, maka harga air produk desalinasi sistem hibrid MED-RO dengan pembangkit ini 2,466 \$/m³, sehingga harga per liternya Rp 27,1,-. Jadi dari aspek ekonomi, teknologi hibrid MED-RO dengan pembangkit energi PLTN merupakan pilihan yang tepat untuk memasok kebutuhan air bersih di Kaltim.

4. KESIMPULAN

Untuk provinsi Kaltim, berdasarkan hasil studi penilaian pemilihan teknologi desalinasi nuklir maka dapat disimpulkan bahwa teknologi MED adalah paling optimal, disusul berturut-turut RO dan MSF. Sehingga MED dapat menjadi pilihan guna memasok air keperluan industri/PLTN karena produk airnya mempunyai TDS 1-50 ppm. Dan untuk memasok air minum keperluan masyarakat, maka RO dapat menjadi pilihan karena produk airnya mempunyai TDS 200-500 ppm. Energi untuk proses desalinasi nuklir (dalam bentuk panas atau listrik) dipasok dari PLTN. Jadi pada pemilihan teknologi desalinasi nuklir, teknologi hibrid MED-RO merupakan pilihan yang tepat dan optimal untuk memasok kebutuhan air bersih di Kaltim. Dari aspek ekonomi, harga air sistem hibrid MED-RO dengan pembangkit energi PLTN lebih murah dibanding dengan pembangkit energi PLTU batubara maupun dengan air aqua kemasan galon atau air isi ulang yang saat ini telah banyak terdapat di lingkungan perumahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM . <http://sarekathijauindonesia.org/?q=id/content/pltn-kaltim-untuk-siapa%3F>. Diakses Desember 2008
- [2]. ANONIM. DIREKTORI PERPAMSI, 2006.
- [3]. ANONIM. <http://www.iaea.org/programmer/a2/index.html>. Diakses Januari 2008
- [4]. ANONIM, "Economic and Technical Assessment of Desalination Technologies in Australia : With Particular Reference to National Action Plan Priority Regions", Department of Agriculture, Fisheries & Forestry-Australia, Sept. 2007.
- [5]. IAEA, " Economics of Nuclear Desalination : New Development and Site Specific Studies", TEC-DOC-1561, IAEA, Vienna, July 2007.
- [6]. ANONIM. <http://www.world-wide-water.com/desal.html>. Diakses April 2008
- [7]. SASAKURA ENGINEERING CO.LTD., "Desalination Plant", PT. Sasakura Indonesia, 2006.
- [8]. S. LOCKE BOGART, "Water Desalination as a Possible Opportunity for The GT-and H2-MHR", White Paper, 15 December 2003.
- [9]. MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA, "Syarat-Syarat Dan Pengawasan Kualitas Air Minum", Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/Menkes/SK/VII/2002.
- [10]. UCHIDA S., "Water Chemistry of Cooling Systems of Pressurized Water Reactors", Nuclear Science and Engineering Directorate, JAEA, 2006.
- [11]. ULRICH E. AND PHYLLIS I., "Review of The Current State of Desalination", Water Policy Working Paper 2005-008, January, 2005.
- [12]. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian Universitas Mulawarman, Kaltim, 2008.
- [13]. RAPHAEL SEMIAT, "Desalination : Present and Future" International Water Resources Association, Water International, Volume 25, Number 1, March 2000.

